

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА АКУСТИКИ ТА АКУСТОЕЛЕКТРОНІКИ**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Дідковський В.С.
(підпис)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка

на тему: «Активна шумоізоляція вагону в метро»

Виконав: студент VI курсу, групи ДГ-72 мп

Карчевський Юрій Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник к.т.н, доц., Богданов О.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант _____

(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018р.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського**

Факультет (інститут) _____ електроніки
(повна назва)

Кафедра _____ акустики та акустoeлектроніки
(повна назва)

Освітньо-кваліфікаційний рівень – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
(назва ОКР)

Напрямок підготовки _____ 171 Електроніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Дідковський В.С.
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертаційну студенту

Карчевському Юрію Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Активна шумоізоляція вагону в метро

керівник роботи Богданов О.В., к.т.н., доцент

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2018р. № _____

2. Строк подання студентом роботи: 10.12.2018

3. Об'єкт дослідження: активна шумоізоляція вагону в метро

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою)

5. Перелік завдань, які необхідно розробити: розробка системи активної шумоізоляція вагону метро, розробка схеми для реалізації системи на базі мікроконтролера, розробка симуляції процесу активної шумоізоляції в системі Simulink

6. Перелік графічного матеріалу: презентація в Power Point.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1) Карчевський Ю.А. Акустичне проектування та поширення звуку в приміщенні / Ю.А.Карчевський / XI Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Осінні наукові читання», 23 листопада, 2018 р., – Ч. 1. – Дніпро: НБК, 2018 – 98

8. Дата видачі завдання 01.09.2018

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Строк виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|---|----------|
| | Збір та вивчення джерел інформації для написання дипломної роботи; складання бібліографії наукових джерел | 01-30.09.2018 | |
| | Складання плану дипломної роботи | 1.10-06.10.2018 | |
| | Підготовка та написання першого розділу | 07-20.10.2018 | |
| | Підготовка та написання другого розділу | 21.10- 03.11.2018 | |
| | Підготовка та написання третього розділу | 04-10.11.2018 | |
| | Підготовка та написання четвертого розділу | 10-15.11.2018 | |
| | Написання анотації, вступу та висновків | 15-17.11.2018 | |
| | Оформлення дипломної роботи | 23-29.11.2018 | |
| | Здача оформленої роботи на кафедру | 07.12.2018 | |
| | Захист дипломної роботи | 17.12.2018 | |

Студент

(підпис)

Ю.А. Карчевський

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

О.В. Богданов

АНОТАЦІЯ

Карчевський Ю.А. «Активна шумоізоляція вагону метро» – К.: НТУУ «КПІ», ФЕЛ, кафедра Акустики та акустoeлектроніки, група ДГ-72мп, 2018. – 57 аркушів, 16 ілюстрацій, 2 таблиці, 14 літератури.

У магістерській дисертації була змодельована модель системи активної шумоізоляції, яка повністю відтворює ситуацію в метро. Розглянуті особливості розвитку систем активної шумоізоляції, їх недоліки та переваги. Базуючись на дослідженій інформації та результатах моделювання системи у середовищі Simulink була побудована схема системи активної шумоізоляції вагону в метро на базі мікроконтролера.

Об'єктом дослідження стало: активна шумоізоляція вагону в метро .

Мета роботи – створення системи для зниження рівня шуму в вагоні Київського метрополітену.

Завдання роботи – змодельовати шумоізоляційну систему у середовищі Simulink та побудувати схему готової до реалізації системи на базі мікроконтролера для зниження рівня шуму у вагоні Київського метрополітену.

Ключові слова: *шумоізоляція, активна шумоізоляція, LMS фільтр*

ABSTRACT

YA Karchevskyy "Active Noise Cancelation System in Subway"- K .: NTU "KPI "FEL, Department of Acoustics and acoustoelectronics, the group DG-72mn, 2018.
– 57 sheets, 16 illustrations, 2 tables 14 references.

In the master's dissertation was simulated a model of active noise cancelation, which completely reproduces the situation in the subway. Peculiarities of the development of active noise cancelation systems, their disadvantages and advantages are considered. Based on the information and simulation results of the system simulink, the scheme of the active noise cancelation system of the wagon in the subway based on the microcontroller was constructed.

The object of the study was: active noise cancelatoin system.

Purpose - creation of a system for reducing noise in the wagon of the Kiev subway.

Task work - simulate a active noise canselation system in the Simulink environment and build a scheme for a system-based microcontroller to reduce noise in the Kiev subway.

Keywords: noise control, active noise cancelation, LMS Filter

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 7 |
| 1. ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУМІВ. ПОШИРЕННЯ ЗВУКУ В ПРИМІЩЕННІ..... | 11 |
| 1.1. ФОРМУЛЮВАННЯ МЕТИ І ПОСТАНОВКА ОСНОВНИХ ЗАДАЧ РОБОТИ..... | 11 |
| 1.2. ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ШУМІВ..... | 11 |
| 1.3. ПОШИРЕННЯ ЗВУКУ В ЗАКРИТИХ ПРИМІЩЕННЯХ..... | 17 |
| 1.4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В ПРИМІЩЕННІ..... | 19 |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ | 26 |
| 2. АКТИВНА ШУМОІЗОЛЯЦІЯ ТА ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЯ У СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK..... | 27 |
| 2.1. АКТИВНА ШУМОІЗОЛЯЦІЯ. ОСОБЛИВОСТІ, ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТА ПЕРЕВАГИ..... | 27 |
| 2.2. СИСТЕМА АКТИВНОЇ ШУМОІЗОЛЯЦІЇ ВАГОНУ. ОПИС СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА КОНСТРУКЦІЇ..... | 34 |
| 2.3. МОДЕЛЬ СИСТЕМИ В СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK..... | 37 |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2..... | 44 |
| 3. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АКТИВНОЇ ШУМОІЗОЛЯЦІЇ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЛЕРА..... | 45 |
| 3.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СЕРЕДОВИЩЕ PROTEUS. МІКРОКОНТРОЛЛЕР АМТЕGA328P..... | 45 |
| 3.2. МОДЕЛЬ СИСТЕМИ АКТИВНОЇ ШУМОІЗОЛЯЦІЇ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЛЕРА..... | 47 |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3..... | 51 |
| 4. СТАРТАП ПРОЕКТ..... | 52 |
| ВИСНОВКИ | 56 |
| ЛІТЕРАТУРА | 57 |

ВСТУП

Різні ситуації, пов'язані з шумами довкілля виникають вкрай часто. Одні з них більш критичні, інші менш, але вирішення будь-якої проблеми шумів навколишнього середовища часто вимагає чималих зусиль і значних вкладень коштів. Однак підходи до її вирішення проблем з шумами в різних країнах різні і знаходяться у великій залежності від культури, економіки і політики цієї країни. Проблема залишається навіть в тих областях, де великі ресурси були витрачені для регулювання, оцінки та заглушення джерел шуму або для зведення шумових бар'єрів. Наприклад, величезні зусилля були спрямовані на ослаблення шуму автодоріг за рахунок його безпосереднього джерела. Фактично, сучасні автомобілі "звучать" набагато тихіше, ніж випускалися десять років тому, але колосальне збільшення обсягу перевезень призвело до того, що всіх раніше прийнятих заходів стало недостатньо, а рівень шуму збільшився. Виробництво менш гучних автомобілів на якийсь період усунуло проблему, але не змогло вирішити її остаточно. (А.Мілошевич, 2005)

Не менш актуальним вважається зниження рівня шуму у вагонах метро. У 2017 році пасажиропотік Київського метрополітену склав близько 500 млн. пасажирів. Дана кількість користувачів говорить про те, Київський метрополітен має високий попит у столиці і в даному випадку важко переоцінити важливість комфортного та безпечного знаходження пасажирів у потязі під час його руху.

В зв'язку з цим, задача створення системи зниження рівня шуму у вагоні метро являється актуальною і може вважатися, як крок до підвищення багатьох показників ефективності у роботі метро, в тому числі і економічних. Дана система має всі передумови стати візитівкою київського метрополітену. Це, власне і визначає *мету роботи*.

На сьогоднішній день у метрополітені не застосовуються ефективні засоби зниження шуму. Якщо розглянути варіант з використанням у метро різного роду шумо- та вібропоглинаючих матеріалів, то даний варіант

зниження шуму буде занадто громіздким, потребуватиме високих інвестицій, та часу на переобладнання вагонів. Саме тому в даній магістерській роботі розроблена система активної шумоізоляції вагону в метро. Для реалізації проекту в даній роботі була запропонована модель з мікроконтролером, який можна програмувати для будь якого положення гучномовців та мікрофонів. Підтвердженням працездатності такої системи являється модель системи в середовищі Simulink, де наочно показано, як «поводить» себе сигнал на різних етапах його обробки. За рахунок впровадження даної системи у вагонах метро рівень шуму суттєво знизиться, що стане запорукою комфортного та безпечного пересування користувачів метро.

Simulink - це графічне середовище імітаційного моделювання, що дозволяє за допомогою блок-діаграм у вигляді направлених графіків, будувати динамічні моделі, включаючи дискретні, безперервні і гібридні, нелінійні і розривні системи. Simulink розроблений компанією The MathWorks. Він дає можливість будувати графічні блок-діаграми, імітувати динамічні системи, досліджувати працездатність систем і вдосконалювати проекти. Simulink повністю інтегрований з MATLAB, що забезпечує швидкий доступ до широкого спектру інструментів аналізу і проектування. Simulink також інтегрується з Stateflow для моделювання поведінки, викликової подіями. Ця перевага робить Simulink найпопулярнішим інструментом для проектування систем керування і комутації, цифрової обробки і інших додатків моделювання.

Ключові особливості графічного середовища:

- Інтерактивне графічне середовище для побудови блок-діаграм;
- Розширювана бібліотека готових блоків;
- Засоби побудови багаторівневих ієрархічних багатокомпонентних моделей;
- Засоби навігації та налаштування параметрів складних моделей — Model Explorer;

- Засоби інтеграції готових C/C++, FORTRAN, ADA та MATLAB-алгоритмів у модель, взаємодія з зовнішніми програмами для моделювання
- Сучасні засоби вирішення диференціальних рівнянь для неперервних, дискретних, лінійних та нелінійних об'єктів (в тому числі з гістерезисом та розривами);
- Імітаційне моделювання нестаціонарних систем за допомогою «вирішувачів» зі змінним та постійним кроком чи методом керованого з MATLAB пакетного моделювання;
- Інтерактивна візуалізація вихідних сигналів, засоби налаштування та завдання вхідних впливів;
- Засіб налагодження та аналізу моделей;
- Повна інтеграція з MATLAB, включаючи численні методи, візуалізацію, аналіз даних та графічні інтерфейси. (1993)

Ступінь вивченості теми.

На сьогоднішній день у світі поширене застосування у практику систем активної шумоізоляції. Оскільки дані системи мають ряд переваг: прості у використанні, мають не велику вагу та низьку вартість. Подібних систем, як система активної шумоізоляції в метро, у світі існує одиниці. Вільного доступу до їх вивчення немає. Самі ж системи активної шумоізоляції є недооціненими, та не мають високої затребуваності на ринку нашої країни. Хоча після дослідження робіт іноземних авторів можна констатувати, що розвиток подібних систем у світі набув чималого прогресу.

Ціль розробки

Ціллю розробки є:

- Розробка пристрою активного шумопридушення для застосування у вагонах київського метрополітену для забезпечення комфортного та зручного перебування пасажирів у вагонах київського метрополітену.

- Впровадження досі нетрадиційної, але з рядом переваг, системи в практику розробки систем шумоізоляції в країні
- Побудова системи на базі мікроконтролера, яка матиме змогу адаптуватися під різні типи вагонів та акустичних середовищ

Актуальність роботи

- Високий рівень затребуваності метро серед населення
- Система побудована на базі мікроконтролера AMTEGA, що робить її гнучкою у налаштуванні та легкою у впровадженні.
- Недооцінювання подібних систем зниження шуму, аналоги яких успішно працюють в провідних країнах світу.

РОЗДІЛ 1

ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУМІВ. ПОШИРЕННЯ ЗВУКУ В ПРИМІЩЕННІ

1.1. Формулювання мети і постановка основних задач в роботі

Основною метою магістерської дисертації є створення системи для зниження рівня шуму в вагоні Київського метрополітену для забезпечення комфортного та безпечного пересування користувачів у метро.

Для досягнення даної мети в дипломній роботі слід вирішити наступні завдання:

- Дослідити фізичні характеристики шумів
- Розглянути поширення звуку та шумів у приміщенні
- Дослідити існуючі системи активної шумоізоляції, принципи їх роботи та особливості
- Змодельовати у програмному середовищі Simulink систему для моделювання ситуації у вагоні метро, та подальшого застосування результатів моделі
- Створити схему системи активної шумоізоляції у середовищі Proteus, яка буде готовою до впровадження.

1.2. Фізичні характеристики та класифікація шумів.

У сучасному суспільстві ми постійно піддаємося впливу звуків. Більшість звуків приносить нам задоволення, але в деяких ситуаціях звук перетворюється в шум. Що таке шум? Шум – це акустичний сигнал з випадковими частотами та випадковими амплітудами.

Існує безліч факторів, що впливають на рівень шуму і на результати вимірювань, які можуть відрізнятися на десятки децибел для одного і того ж джерела шуму. Для того, щоб з'ясувати причину подібних відмінностей, необхідно розглянути процеси виникнення шуму на рівні джерела, поширення в повітрі і надходження в приймальний пристрій. Беручи до уваги наш слух, можна сказати, що гучний шум - це такий звук, який може завдати шкоди вашому слуху. Для людей з порушеним слухом навколишній шум

представляє особливу проблему, так як вони зазвичай мають сильно обмежену можливість сприйняття мови в галасливій обстановці. Багато слухових апаратів посилюють не тільки мову, але і навколишній шум, тому в галасливій обстановці часто виникають проблеми. Ми піддаємося впливу всіляких звуків в повсякденному житті. Спорт, кінотеатри, концерти та інші розваги, а також вуличний рух збільшує рівень шуму навколо нас. Музика зазвичай приносить задоволення, але занадто гучна музика ставати джерелом шкідливого шуму. На рок-концерті гучність звуку може досягати 120 дБ. Популярні серед молоді портативні програвачі компакт-дисків також можуть стати винуватцем шуму при тривалому використанні на занадто великій гучності. Тому можна констатувати, що у сучасному світі високої актуальності набувають засоби зниження шуму. (2007)

Розглянемо основні терміни, які визначають характеристики звуку.

Звуковий тиск, P [Па] – змінна складова тиску повітря або газу, що виникає під час проходження звукової хвилі в середовищі. Звукові хвилі збуджують коливання частинок повітряного середовища, в результаті чого змінюється атмосферний тиск.

Частота звуку, f [Гц]. Частота звуку визначається числом коливань звукового тиску в секунду. За частотою звукові коливання поділяються на три діапазони: інфразвукові з частотою коливань менше 20 Гц, звукові - від 20 до 20 000 Гц і ультразвукові - більше 20 000 Гц.

Інтенсивність звуку, I [Вт / м²]. Інтенсивність звуку - це потік енергії, що переноситься звуковою хвилею в одиницю часу, який відноситься до одиниці площі поверхні, нормальній до напрямку поширення хвилі.

Рівень інтенсивності, LI [дБ]. Рівень звукового тиску, LP [дБ]. Слухові відчуття людини, що виникають при шумі, пропорційні логарифму кількості енергії цього шуму. Десять логарифмів квадрата даного звукового тиску до квадрату порогової величини

Величина рівня інтенсивності звуку використовується при акустичних розрахунках, а рівня звукового тиску - при вимірах шуму. При нормальних атмосферних умовах $L_I = L_P$.

Область чутних звуків обмежується не тільки певними частотами (20 - 20 000 Гц), а й певними граничними значеннями звукових тисків та їх рівнів. На рис.1.1.1 ці граничні значення рівнів звукового тиску зображені двома кривими. Нижня крива відповідає порогу чутності. Верхня крива - порогу больового відчуття ($L=120\div130$ [дБ]). Звуки, що перевищують за своїм рівнем цей поріг, можуть викликати болі і пошкодження в слуховому апараті.

Область на частотній шкалою, що лежить між цими кривими, називається *областю слухового сприйняття*.

Рівень звуку, L_A [дБА]. Це величина, яка визначається за формулою:

$$L_A = 20 \lg \frac{P_A}{P_0}, \quad (1.1.1)$$

де P_A - звуковий тиск, виміряний по шкалі "А" шумоміра. Характеристика "А" шумоміра за допомогою спеціального фільтра забезпечує імітацію чутливості вуха людини у всьому діапазоні частот (рис.1.1.1).

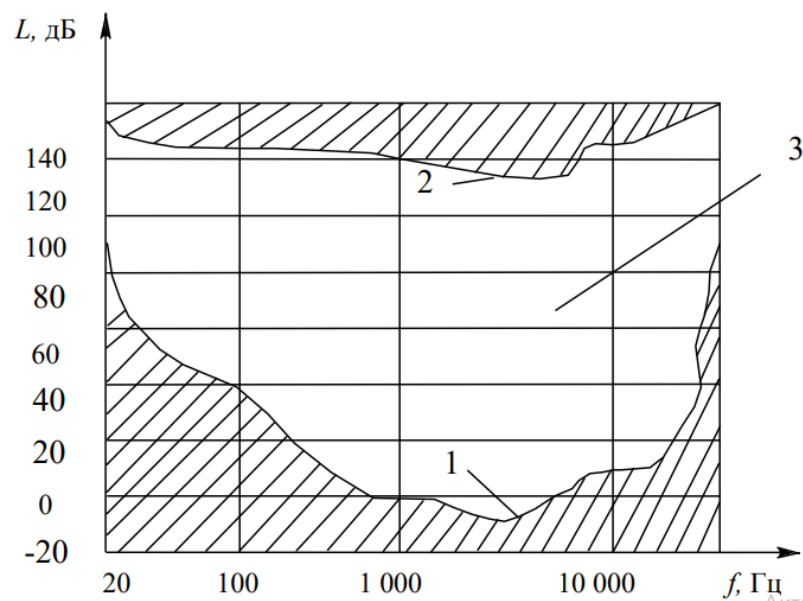


Рис. 1.1.1 Слухове сприйняття людини: 1-поріг чутності; 2-поріг больового відчуття; 3 – область слухового сприйняття

Еквівалентний по енергії рівень звуку, L_{Aeq} [дБА] непостійного шуму - це рівень звуку постійного широкосмугового шуму, який має такий же середньоквадратичний звуковий тиск, що і даний непостійний шум протягом певного інтервалу часу.

Рівень звукової потужності, LW [дБ]. Цей параметр застосовують для шумової характеристики машин. Октавні рівні звукової потужності визначаються дослідним шляхом і вказуються в паспорті на обладнання.

Допустимий рівень шуму - це рівень, який не викликає у людини значного занепокоєння і істотних змін показників функціонального стану систем і аналізаторів, чутливих до шуму.

Гранично допустимий рівень (ПДУ) шуму - це рівень фактора, який при щоденній (крім вихідних днів) роботі, але не більше 40 годин на тиждень протягом усього робочого стажу, не повинен викликати захворювань або відхилень у стані здоров'я, які виявляються сучасними методами досліджень в процесі роботи або у віддалені строки життя теперішнього і наступних поколінь. Дотримання ПДУ шуму не виключає порушення здоров'я у надчутливих осіб.

Максимальний рівень звуку, L_{Amax} [дБА] - це рівень звуку, який відповідає максимальному показнику вимірювального приладу (шумоміра) при візуальному відліку, або значення рівня звуку, яке перевищується протягом 1% часу вимірювання при реєстрації автоматичним пристроєм.

Корегований рівень звуку – рівень звукового тиску, постійного шуму, корегований за стандартною частотною характеристикою «А». Взаємозв'язок між рівнем звуку і рівнем звукового тиску:

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_i + K_i)}, \quad (1.1.2)$$

де L_i – рівень звукового тиску в октавній (третьоктавній) смугах частот нормованого діапазону.

K_i - значення частотної характеристики А

Для октавних смуг нормований коефіцієнт 63Гц – 8кГц.

Для третьоктавних смуг нормований коефіцієнт 50Гц – 10кГц.

Таблиця 1.1.1 Стандартні значення кривої «А»

| | | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| $f_i, \text{Гц}$ | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| K_i | -39,4 | -26,2 | -16,1 | -8,6 | -3,2 | 0 | 1,2 | 1 | -1,1 |

Еквівалентний корегований рівень звуку – еквівалентний рівень звукового тиску непостійного шуму. Корегований шум за стандартною характеристикою А

$$L_{A_{екв}} = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{еквi} + K_i)} , \quad (1.1.3)$$

де $L_{еквi}$ - рівень звукового тиску, постійного шуму, у якого середній квадрат має те саме значення, що і за заданим постійним шумом у заданому інтервалі часу.

$$L_{A_{екв}} = 10 \lg \left(\left(\int_0^t \rho^2(t) dt \right) \frac{1}{\rho_0^2 T} \right) \quad (1.1.4)$$

$$L_{A_{екв}} = 10 \lg \frac{1}{N \Delta t} 10^{0,1 L_i} \quad (1.1.5)$$

Розглянемо класифікацію шумів які впливають на людину.

За **характером спектра** шум ділиться:

- на *широкопasmовий шум*, з безперервним спектром шириною більше 1 октави;
- на *тональний шум*, в спектрі якого є виражені тони. Тональний характер шуму для практичних цілей встановлюється вимірюванням в 1/3 октавних смугах частот по перевищенню рівня в одній смузі над сусідніми не менш як на 10 дБ.

- на *суміш* шумів

За **часовими характеристиками** шум ділиться:

- на *постійний шум*, рівень звуку якого за 8-годинний робочий день або за час вимірювання в приміщеннях житлових і громадських будівель, на території житлової забудови змінюється в часі не більше ніж на 5 дБА;

- *непостійний шум*, рівень якого за 8-годинний робочий день, робочу зміну або під час вимірювання в приміщеннях житлових і громадських будівель, на території житлової забудови змінюється в часі більш ніж на 5 дБА.

Непостійні шуми поділяють:

- *Коливальний шум* – це шум, рівень якого змінюється не більше ніж на 5 дБ за 1 секунду;

- *переривчастий шум*, рівень якого змінюється східчасто, а тривалість тимчасових інтервалів впродовж яких рівень залишається незмінним становить більше 1 секунди. (Транспортні потоки біля світлофору);

- *імпульсний шум*, який складається з декількох та більше звукових сигналів, кожен з яких триває менше однієї секунди, а рівень звуку зростає та спадає більше ніж 20 дБА.

За **типом походження** шуми поділяють на:

- *Антропогенного походження* (машини) – шуми, які викликані діяльністю людини (індустріальні шуми, транспортні шуми, шуми населення)

- *Природні шуми*

За **способом надходження** шуми поділяють на:

- *Відкритого простору*

- *Шуми приміщення*

За **фізичним походженням** шуми поділяють на:

- *Механічні*

- *Аерогідродинамічні*

- *Електромагнітні*

1.3. Поширення звуку в закритих приміщеннях

Спробуємо уявити собі характер задачі, що постає при дослідженні звукового поля у закритому приміщенні. На відміну від вільного розповсюдження звукової хвилі у відкритому просторі, у приміщенні звук відбивається від поверхонь, які його огорожують, і таких послідовних відбиттів можна нарахувати нескінченно багато, поки короткий звуковий сигнал не затухне до нечутного. Таким чином через кожен точку в об'ємі приміщення одночасно проходить дуже велика кількість відбитих хвиль, що рухаються у всіх можливих напрямках. (Дідковський, В. С.; Луньова, С. А.; Богданов, О. В., 2012)

Звуковий тиск і вектор коливальної швидкості в кожній окремій точці приміщення визначаються результатом інтерференції всіх цих хвиль. Якщо збагнути, що цей результат потрібно обчислити для будь-якої точки в об'ємі приміщення і для будь-якої частоти в межах діапазону чутності, то очевидна складність дослідження цієї задачі в динаміці. Але саме дуже велика кількість хвиль, які накладаються в просторі, наводить на думку, що хоча б у деяких випадках задача підлягає статистичному трактуванню з застосуванням основних прийомів математичної теорії ймовірності.

Теорія архітектурної акустики з часів У. Себіна стала на шлях статистичного описання звукових полів, оперуючи середніми значеннями густини звукової енергії в приміщенні і не претендуючи на визначення тисків і коливальних швидкостей в окремих його точках.

Якщо звукове поле в приміщенні рівномірне, тобто хвильовий рух в приміщенні має неупорядкований характер без наявності переважаючих напрямків випромінювання, то статистичні методи досліджень дозволяють отримати важливі практичні результати. Але, коли звукове поле нерівномірне, а саме, спостерігаються зони фокусування звуку і акустичної тіні, статистична теорія непридатна для аналізу таких приміщень.

Встановлено, що статистична акустика застосовна переважно в приміщеннях у формі паралелепіпеду, в яких відношення максимального

розміру сторони до мінімального не перевищує 5:1. В разі плоских і довгих приміщень, або приміщень з криволінійною формою поверхонь (куполоподібна стеля, кругла або еліптична форма підлоги, наявність ніш, колон, простору під балконами і т.д.), оцінку нерівномірності розподілу енергії відбитого звукового поля можна одержати за допомогою геометричної теорії акустики. Такий підхід дозволяє прослідкувати за звуковою енергією, що проноситься окремими відбиттями, замість прийнятого в статичній теорії метода усереднення.

В геометричній акустиці вважається, що закони відбиття звуку аналогічні геометричній оптиці. Для побудови відбиттів звукових хвиль від поверхонь приміщення використовують звукові промені, тобто лінії, перпендикулярні фронту хвилі, які вказують напрямок поширення звукової хвилі. В разі некогерентного сигналу звукова енергія в кожній точці приміщення складається з суми енергії хвилі, що приходить безпосередньо від джерела звуку, і енергій відбитих хвиль. Побудову променевої картини здійснюють у розгорнутому зображенні в двох або трьох проекціях. Знаючи швидкість поширення звуку, можна визначити запізнення одного звукового променя відносно до іншого і виявити акустичні дефекти приміщень.

Геометрична акустика справедлива лише при незалежності коефіцієнта відбиття від кута падіння звукового променя. Реальні конструкції, які огорожують приміщення, не тільки відбивають за законами геометричної оптики, але і в околі розсіюють звук, що вже не можливо описати за допомогою геометричної теорії. Крім того, розподілення звукової енергії на відбиту і розсіяну складові на практиці провести дуже складно.

Як бачимо, і статистичний, і геометричний метод описання звукового поля в приміщенні мають свої припущення і області застосування. Строга математична теорія, яка описує коливання замкненого об'єму повітря в приміщенні, як трьохмірної системи з розподіленими параметрами, одержала фундаментальний розвиток під назвою хвильової.

Хвильова теорія виходить з фізичних закономірностей звукових процесів, що протікають в приміщенні. Справа в тому, що після припинення дії джерела звуку затухання сигналу є результатом затухання вільних власних коливань приміщення. Тобто повітряний об'єм в приміщенні розглядається як коливальна система з розподіленими параметрами, і затухання звуку являє собою власні затухаючі коливання цього об'єму з частотами, що залежать від розмірів і форми приміщення.

Строге розв'язання фізичної задачі в рамках хвильової теорії відіграє суттєву роль в розумінні багатьох явищ, з якими зустрічаються при проектуванні приміщень. Але при переході від найпростішої прямокутної форми приміщення з ідеалізованими граничними умовами до більш складної форми інженерні рішення архітектурно-акустичних задач нашої виходять на значні труднощі.

Складність математичного апарату не дозволяє поки що одержати необхідні для акустичного проектування розрахункові формули. Важливе практичне значення хвильової теорії полягає в тому, що на її основі можна оцінити вплив акустичних властивостей поверхонь на різні види хвиль, які виникають в приміщенні, характер звукового поля при стаціонарному режимі, процеси затухання коливань, а також межі застосування припущень, які спрощують розв'язання задачі, що аксіоматично сприймаються іншими теоріями. Методи хвильової акустики застосовують на практиці для приміщень малого об'єму правильної форми в низькочастотному діапазоні.

Отже, існуючі методи розрахунку звукових полів приміщень базуються на положеннях хвильової, статистичної і геометричної акустики, причому при вирішенні задач будівельно-акустичного проектування в більшості випадків користуються методами статистичної і геометричної теорій.

1.4. Характеристики звукового поля в приміщенні.

Середній час і довжина вільного пробігу хвилі. Основним прийомом статистичного дослідження звукового поля в приміщенні, а саме усередненням енергії звукових хвиль, що хаотично приходять з усіх

можливих напрямків в дану точку об'єму, служить припущення про *середню довжину вільного пробігу звукової хвилі*, тобто середньої відстані, що проходить звук між двома послідовними відбиттями в приміщенні. (Дідковський, В. С.; Луньова, С. А.; Богданов, О. В., 2012)

Використовуючи міркування теорії ймовірності, можливо знайти ймовірність падіння звука за час dt під будь-яким кутом і на будь-який елемент приміщення, а збільшуючи цей інтервал, ми одержимо такий проміжок часу τ , в межах якого падіння звука на будь-яку точку поверхні S повинно відбутися обов'язково. Цей інтервал часу τ є *середнім часом* між двома послідовними відбиттями звуку або *середнім часом вільного пробігу звукової хвилі* і визначається співвідношенням:

$$\tau = \frac{4V}{c_0 S} \quad (1.3.1)$$

де V – об'єм приміщення; S – сумарна площа поверхонь, що огорожують приміщення; c_0 – швидкість розповсюдження звуку в повітрі.

Середнє число відбиттів за одиницю часу

$$n = \frac{1}{\tau} = \frac{c_0 S}{4V} \quad (1.3.2)$$

а середня довжина вільного пробігу звукової хвилі

$$l_0 = c_0 \tau = \frac{4V}{S} \quad (1.3.3)$$

Остання формула піддається експериментальній перевірці. Такі досліди проводив В.Кнудсен для 11 моделей приміщень, виконаних у масштабі 1:24. Він користувався мініатюрним джерелом світла і маленькими плоскими дзеркальцями, розміщеними на стінках моделі в точках падіння світла. Вимірявши достатньо велику кількість таких відрізків, неважко обчислити їх середню довжину. В результаті статистичної обробки виконаних вимірювань В.Кнудсен знайшов, що в моделях найпростішої форми — паралелепіпедах — дані експерименту добре узгоджуються з виразом (1.4.3) і наближені для

приміщень більш складної форми. Але, слід мати на увазі, що в моделях правильної форми (наприклад, паралелепіпед) початковий напрямок пучка світла не повинен бути паралельним будь-якій з обмежуючих поверхонь. Якщо ця умова не виконана, то орієнтація відбитих пучків не буде мати статистичного розподілу, без якого розрахунок ймовірності не має сенсу. Вимірювання з пучком світла, паралельним ребру або грані паралелепіпеда, не мали б ніякого відношення до архітектурно-акустичної статистики. Це тривіальне міркування вказує на те, що для приміщень з правильною геометричною формою статистичний метод може іноді призвести до помилкових результатів.

Середній коефіцієнт поглинання звуку. Коефіцієнтом поглинання матеріалу α називають відношення поглиненої енергії звукової хвилі $E_{\text{погл}}$ до енергії хвилі, падаючої на поверхню цього матеріалу $E_{\text{пад}}$.

$$\alpha = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{пад}}} \quad (1.3.4)$$

Якщо розміри поверхні поглинаючого матеріалу великі в порівнянні з довжиною падаючої звукової хвилі і товщина його практично нескінченна, то коефіцієнт поглинання

$$\alpha = 1 - \beta, \quad (1.3.5)$$

де β – коефіцієнт відбиття звукової хвилі.

Коефіцієнти поглинання залежать від кута падіння звукової хвилі на поглинаючий матеріал. Розрізняють *нормальний* коефіцієнт поглинання (для кута падіння 90°) і *дифузний* (для будь-яких кутів падіння). В довідниках звичайно наводиться дифузний коефіцієнт поглинання.

Розглянемо тепер поняття *середнього* коефіцієнту поглинання звуку в приміщенні.

Якщо уявити собі, що приміщення обмежене однорідною за своїми фізичними та геометричними властивостями поверхнею, то середній

коефіцієнт α визначається як відношення енергії, поглиненої цією поверхнею, до енергії, падаючої на неї під будь-якими кутами.

Термін "дифузне падіння" відноситься до ергодичного процесу, коли всі напрямки переносу звукової енергії рівно ймовірні. Отже, можна визначити α як коефіцієнт поглинання звуку (в умовах дифузного поля) такою однорідною поверхнею, яка, обмежуючи приміщення, зумовлює ті ж самі втрати енергії, що і фактична неоднорідна поверхня. Через це величина α називається середнім коефіцієнтом поглинання.

Добуток середнього коефіцієнта поглинання на поверхню S

$$A = \alpha S \text{ (Себ)} \quad (1.3.6)$$

прийнято називати загальним поглинанням приміщення або фондом поглинання. Коефіцієнт вимірюється в особливих одиницях - Себінах

Якщо приміщення обмежене поверхнями S_1, S_2, \dots з коефіцієнтами поглинання $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ (виміряними в умовах дифузного звукового поля), то загальне поглинання визначається сумою поглинань окремих ділянок поверхні:

$$A = \sum_i \alpha_i S_i \quad (1.3.7)$$

При цьому середній коефіцієнт поглинання є

$$\alpha = \frac{A}{S} = \frac{1}{S} \sum_i \alpha_i S_i. \quad (1.3.8)$$

Наростання звуку, стаціонарний режим і відзвук. Міркування, викладені вище, надають можливості статистичного розрахунку встановлення акустичного режиму в закритих приміщеннях.

Нехай в момент часу $t = 0$ в приміщенні починає діяти джерело звуку з акустичною потужністю P_a . За час τ , що дорівнює середньому часу вільного пробігу звукової хвилі, джерело звуку віддає в приміщення енергію $P_a \tau$. В результаті першого відбиття, тобто до моменту часу 2τ , від цієї енергії залишиться частина $P_a \tau (1 - \alpha)$, як витікає з визначення середнього

коефіцієнта поглинання. Але за інтервал часу від τ до 2τ джерело звуку знову віддає в приміщення енергією $P_a \tau$. Таким чином, до моменту $t = 2\tau$ в приміщенні буде існувати енергія

$$P_a \tau + P_a \tau(1 - \alpha) = P_a \tau[1 + (1 - \alpha)] \quad (1.3.9)$$

Розмірковуючи таким чином далі, ми встановлюємо, що до моменту часу $t = 3\tau$ енергія в приміщенні буде дорівнювати

$$P_a \tau + P_a \tau[1 + (1 - \alpha)](1 - \alpha) = P_a \tau[1 + (1 - \alpha) + (1 - \alpha)^2] \quad (1.3.10)$$

До моменту часу $t = n\tau$ (де n – достатньо велике ціле число) запас енергії E в приміщенні становить

$$\begin{aligned} E &= P_a \tau [1 + (1 - \alpha) + (1 - \alpha)^2 + \dots + (1 - \alpha)^{n-1}] = \\ &= P_a \tau \frac{1 + (1 - \alpha)^n}{1 - (1 - \alpha)} = \frac{P_a \tau}{\alpha} [1 - (1 - \alpha)^n] \end{aligned} \quad (1.3.11)$$

Вважаючи, що $n = \frac{t}{\tau}$, і підставивши значення τ , маємо

$$E = \frac{4P_a V}{c_0 \alpha S} \left[1 - (1 - \alpha)^{\frac{c_0 S}{4V} t} \right] \quad (1.3.12)$$

Скориставшись тотожністю

$$(1 - \alpha)^X = \exp[X \ln(1 - \alpha)] \quad (1.3.13)$$

і замінюючи у відповідності з (1.2.4) αS на A , отримаємо формулу наростання звукової енергії в приміщенні після ввімкнення джерела звуку

$$E(t) = \frac{4P_a}{c_0 A} V \left[1 - \exp \frac{c_0 S \ln(1 - \alpha)}{4V} t \right] \quad (1.3.14)$$

Для наростання середньої густини звукової енергії маємо звідси:

$$W(t) = \frac{E(t)}{V} = \frac{4P_a}{c_0 A} \left[1 - \exp \frac{c_0 S \ln(1 - \alpha)}{4V} t \right] \quad (1.3.15)$$

Оскільки $\alpha < 1$, що витікає з визначення цієї величини, то $\ln(1 - \alpha)$, а отже і показник експоненти, від'ємні. Таким чином

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left[\exp \frac{c_0 S \ln(1 - \alpha)}{4V} t \right] = 0 \quad (1.3.16)$$

Тому для стаціонарного режиму, коли втрати енергії, завдяки поглинанню, повністю компенсують енергію, що надається джерелом звуку, з (1.3.9) і (1.3.10) витікають формули

$$E_0 = \frac{4P_a}{c_0 A} V, \quad (1.3.17)$$

$$W_0 = \frac{4P_a}{c_0 A}. \quad (1.3.18)$$

Звернемося тепер до процесу відзвуку або реверберації. Нехай в момент часу $t=0$, коли енергія, що міститься в приміщенні, має деяку величину E_0 , джерело звуку виключається.

Через час τ в приміщенні залишається енергія $E_0(1-\alpha)$. До моменту часу 2τ запас енергії зменшиться до величини $E_0(1-\alpha)^2$.

До моменту $t = n\tau$ енергія буде дорівнювати

$$E(t) = E_0(1-\alpha)^n. \quad (1.3.19)$$

Замінивши степеневу функцію експоненціальною і підставляючи значення середнього часу вільного пробігу τ , знайдемо формули відзвуку в приміщенні після вимкнення джерела:

$$E(t) = E_0 \left[\exp \frac{c_0 S \ln(1-\alpha)}{4V} t \right], \quad (1.3.20)$$

$$W(t) = W_0 \left[\exp \frac{c_0 S \ln(1-\alpha)}{4V} t \right]. \quad (1.3.21)$$

Графіки процесів наростання звуку і відзвуку, побудовані за рівняннями (1.4.10). Тут зображений типовий хід цих процесів.

Зовсім іншу і більш характерну картину можна одержати, відклавши по осі ординат не саму густину W звукової енергії, а її логарифм. Вибір логарифмічної шкали пов'язаний з тією обставиною, що наш орган слуху оцінює інтенсивність зовнішнього подразнення в логарифмічному масштабі, адекватно реагуючи на однакові відносні (а не абсолютні) змінення звукового тиску. (Исакович, 1973)

На рис.1.4.2, відтворений графік тих самих нестационарних процесів, з тією різницею, що по осі ординат відкладений рівень звукової енергії (в дБ). При цьому спостерігається картина, яка характеризує слухове сприйняття нестационарних процесів в закритому приміщенні. Звернемо увагу на суб'єктивну швидкоплинність процесу наростання рівня, завдяки чому це явище не відіграє суттєвої ролі в оцінці акустичної якості приміщення. Разом з тим абсолютно чітко спостерігається повільний процес спадання рівня, що подається у вигляді відрізка спадаючої прямої. Нахил цієї прямої до осі абсцис визначає швидкість спадання звуку в дБ/с. Формулу для швидкості спадання легко одержати, помітивши, що згідно з рівнянням (1.4.20),

$$\begin{aligned}
 L &= 10 \lg \frac{W}{W_0} = -\frac{c_0 S}{4V} \ln(1-\alpha)t \cdot 10 \lg(e) = \\
 &= -\frac{4,34 c_0 S}{4V} \ln(1-\alpha)t
 \end{aligned}
 \tag{1.3.20}$$

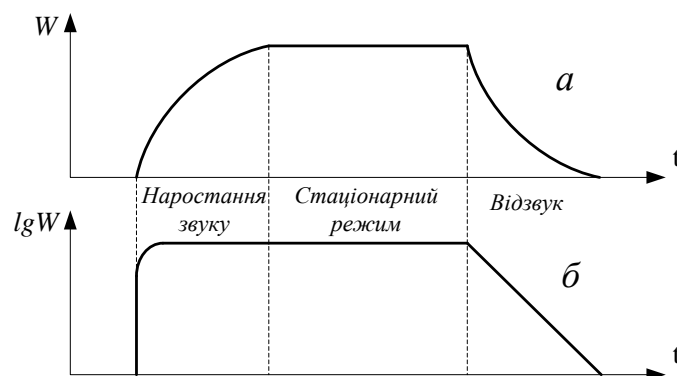


Рис. 1.4.2 Графіки процесів наростання звуку і відзвук в приміщенні
а - для густини енергії; б - для рівня звукової енергії

Звідси видно, що швидкість спадання рівня в процесі затухання звуку дорівнює

$$\beta = \frac{L}{t} = -\frac{4,34 c_0 S}{4V} \ln(1-\alpha)t
 \tag{1.3.21}$$

Висновки до розділу

Отже, у даному була визначена мета розробки та впливаючі завдання для її досягнення.

В розділі було розглянуті фізичні характеристики шумів їх класифікація та розкрита проблема згубного впливу шумів на здоров'я людини.

Я розглянув існуючі методи розрахунку звукових полів приміщень, які базуються на положеннях хвильової, статистичної і геометричної акустики, та визначили, що при вирішенні задач будівельно-акустичного проектування в більшості випадків користуються методами статистичної і геометричної теорій.

РОЗДІЛ 2

АКТИВНА ШУМОІЗОЛЯЦІЯ ТА ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЯ У СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK

2.1. Активна шумоізоляція. Особливості, історія розвитку та переваги.

Для того, щоб контролювати небажані звуки, існують два різних підходи, які називаються пасивним та активним контролем шуму. У багатьох випадках використовується поєднання обох. Пасивний контроль шуму Традиційним підходом зменшення шуму звукоізоляція. Типовим прикладом є вушні навушники. При використанні матеріалів з особливими акустичними характеристиками досягається суттєве послаблення шумового фону. Ця форма зменшення шуму найкраще працює для збереження високих частот, в основному діючи, як фільтр низьких частот. Однак для ізолювання низьких частот, пасивні системи, як правило, робляться громіздкими і важкими. Оскільки розмір і маса пасивних систем зазвичай залежить від акустичної довжини хвилі, роблячи їх більшими і масивнішими для ізоляції низьких частот.

Активні методи контролю над шумом, відомі як "активна шумоізоляція", є однією з актуальних тем в акустиці в наші дні. Активна шумоізоляція базується ефекті інтерференції хвиль: коли дві хвилі з однаковою амплітудою і частотою, але в протилежній фазі, знаходяться у тому ж «напрямку», вони будуть нейтралізувати один одну. Отриманий звук нульовий, енергія звуку перетворюється в тепло(рис.2.1.1).

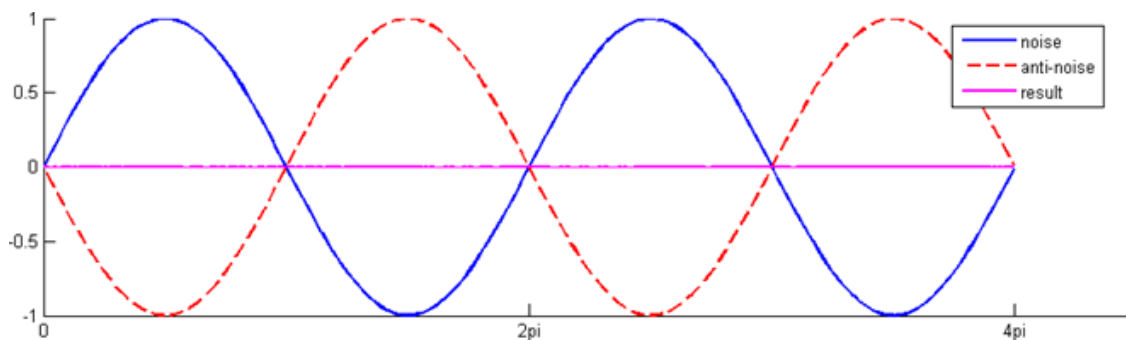


Рис.2.1.1 Принцип активної шумоізоляції

У найпростішій формі системи активної шумоізоляції зводяться до гучномовця, який створює звукове поле, яке є точним «дзеркальним» відображенням небажаного шуму.

Базові компоненти системи активної шумоізоляції.

Система активної шумоізоляції складається з наступних чотирьох основних частин:

Пристрій - система, яку потрібно ізолювати від шуму (типичним прикладом є навушники та повітря всередині нього).

Приймачі сигналу - датчики вібрації, мікрофони або інші пристрої, які можуть реєструвати акустичні хвилі.

Гучномовці - пристрої для перетворення електричних сигналів в акустичні.

Контролер - процесор сигналів, який контролює всі елементи системи.

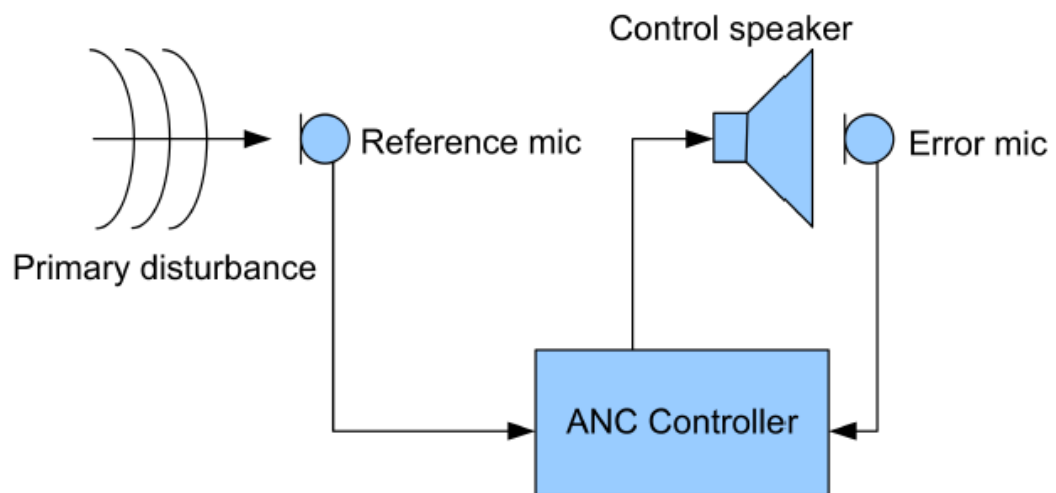


Рис.2.1.2 Базова система активної шумоізоляції

Види систем активної шумоізоляції

Різна «поведінка» характеристик звукових хвиль у різних фізичних середовищах дозволяють розділити системи активної шумоізоляції на три групи:

Global free space cancellation - Повне знищення звукового поля в трьох вимірах. Потрібно, щоб джерело протифазного шуму було розміщено в безпосередній близькості від приймача звуку, як ключовий елемент в межах

0,1 довжини хвилі порушення щоб отримати 20 дБ загальне зниження інтенсивності звуку на будь-якій заданій частоті

Порожнина та канал скасування - пропонує зняття шуму в обмежених просторах, наприклад, в приміщенні або вентиляційному каналі. У замкненому просторі створюються відбиття від стінок, які зазвичай присутні при довжині хвилі акустики хвиля підходить або зменшується нижче розмірів порожнини. Кількість акустичних імпульсів швидко зростає із збільшенням частоти. Число імпульсів N нижче частоти f у порожнині об'єму V задано рівнянням:

$$N = \frac{4\pi V}{3c^3} f^3 \quad (2.1.1)$$

Зниження зони тиші - забезпечує локалізоване зниження звукової потужності звуку в дуже малій зоні загальної звукової області. Типова зона зникнення становитиме лише близько десятої довжини хвилі в діаметрі.

Слід зазначити, що активне скасування шуму найкраще підходить для низьких частот

Перш за все для більш високих частот, вимоги до відстані для методів вільного простору та зони тиші стають неприйнятними.. По-друге, в акустичних системах і каналах системами кількість режимів швидко зростає зі збільшенням частоти, що швидко робить методи контролю активного шуму некерованими. По-третє, пасивна шумоізоляція стає ефективнішою на більш високих частотах і часто забезпечує адекватне рішення без необхідності активного контролю. (А.Мілошевич, 2005)

Основні підходи в реалізації систем активної шумоізоляції

При припущенні, що система є лінійною та залежить від часу, існує два різних базових підходи до систем активної шумоізоляції.

Контроль вхідного сигналу. Ці системи залежать від прямого вимірювання первинного сигналу та знання функції передачі. Підхід є відомий як потік компенсації, оскільки компенсатор не міститься в тракті

зворотному зв'язку. Перевагою такого підходу є підвищення стабільності з боку компенсатора, який не має впливу на сигнал на його вході.

На рисунку 2.1.3. наведено блок-схему системи ліквідації похибок лінійного опору, де $U(s)$ представляє командний ввід, $C(s)$ являє собою компенсатор, $P(s)$ являє собою функцію передачі, $D(s)$ являє собою зовнішній шум, $Y(s)$ являє собою вихідний сигнал системи. $G(s)$ являє собою можливість лінійного перетворення.

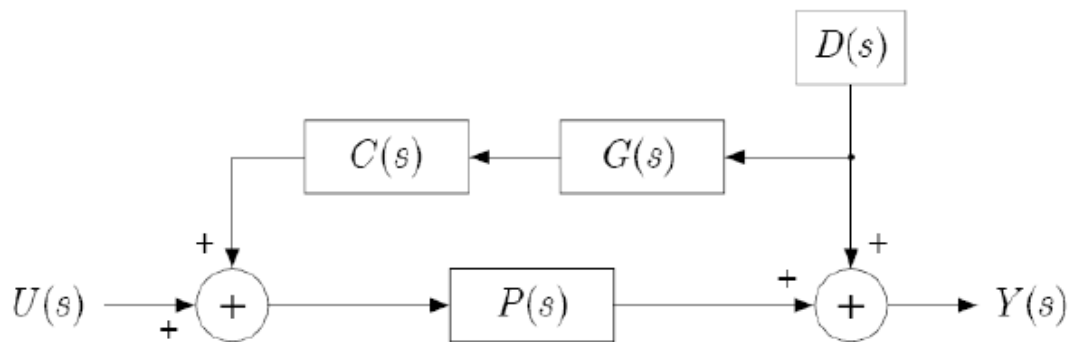


Рис 2.1.3. Структурна схема системи активної шумоізоляції

Перехідна функція від вхідного сигналу на вихід системи до подачі шумопридушуючого сигналу наведено в рівнянні 1.1.31. Якщо компенсатор розроблений таким чином, що $C(s) = -G^{-1}(s) P^{-1}(s)$, то загальна результуюча передхідна функція дорівнює нулю.

$$H(s) = \frac{Y(s)}{D(s)} = 1 + G(s)C(s)P(s) \quad (2.1.2)$$

Контроль зворотного зв'язку. Цей підхід постійно контролює виведення системи з метою мінімізації залишкової помилки. Перевага в тому, що вона може компенсувати динамічні коливання системи через зміни температури або вологості тощо.

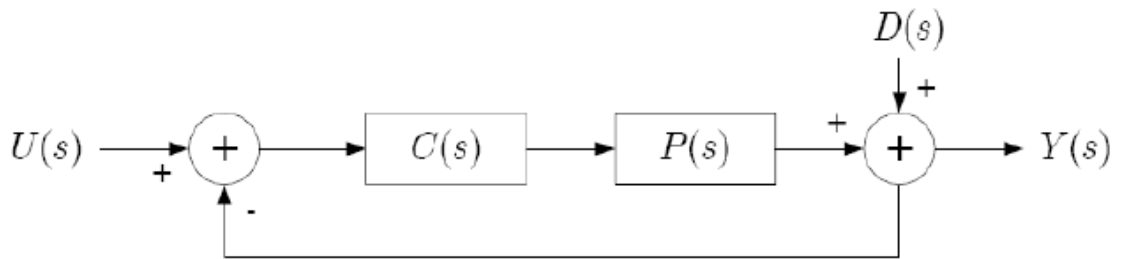


Рис. 2.1.4 Структурна схема контролю зворотного зв'язку

Структурна схема лінійного контролю зворотного зв'язку можна побачити на малюнку 2.1.4. Цей тип зворотного зв'язку насправді є найбільш поширеним підходом до систем активної шумоізоляції, шляхом проектування компенсатора $C(s)$, щоб мінімізувати вплив шуму $D(s)$ на виході системи $Y(s)$.

$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{1}{1 + C(s)P(s)} \quad (2.1.3)$$

Результати впровадження активної шумоізоляції на практиці.

Один з перших експериментів активної шумоізоляції складався з двох гучномовців з синусоїдальними сигналами однієї частоти та амплітуди, але один гучномовець працював зі зміненим за фазою сигналом. Установивши ці гучномовці на певну відстань, самопоглинання двох сигналів відбувалося. Це особливий випадок, оскільки сигнали є періодичними і завжди залишаються однаковими, і тому шум може бути нівельований не тільки шляхом відправлення інвертованого сигналу в тому ж напрямку (звичайний принцип активного шумоконтролю), але також, відправивши інвертований сигнал проти напрямку розповсюдження первинного сигналу.

Перевага цього експерименту полягає в тому, що наслідки інтерференції хвиль легко показати, змінивши відстань між динаміками.

Якщо гучномовці розташовані на половині довжини хвилі, ефект інтерференції робить сигнал набагато гучнішим, ніж сигнал від одного гучномовця.

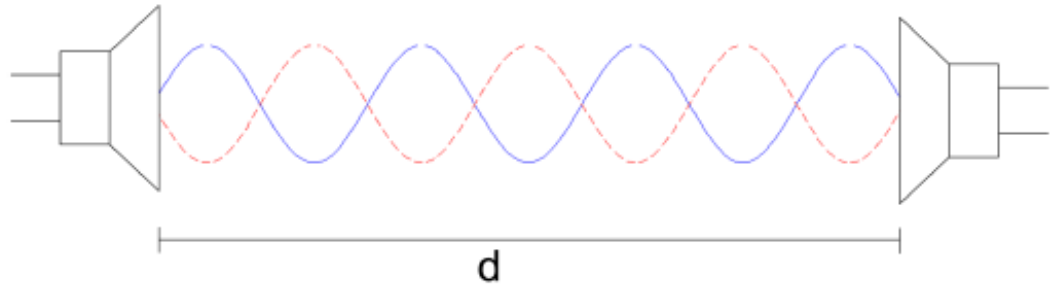


Рис.2.1.5 Два гучномовці направленні один проти одного, які знаходяться на відстані d

Історія активної шумоізоляції

Ідея активного контролю шуму існує з 1930-х років. Проте, системи активної шумоізоляції стали справді практичними, після появи сучасних мікросхем та цифрових систем. В останні роки ця галузь була широко вивчена. Сотні дослідницьких робіт були опубліковані на цю тему. Існують також десятки компаній, які спеціалізуються на комерційному інтересі у впровадженні систем активної шумоізоляції.

Існуючі системи активної шумоізоляції

На сьогоднішній день існує безліч прикладів застосувань систем активної шумоізоляції. Більшість з них, ймовірно, залишаються непомітними випадковому користувачу.

Для прикладу системи активної шумоізоляції у літаках. Використання систем активної шумоізоляції для усунення низькочастотного шуму в салоні літака для комфорту пасажирів набирає все більшу популярність. Більшість великих виробників літаків розробляють такі системи, в основному для гучних гвинтових літаків. Наприклад, система шумозаглушення тепер встановлюється в якості стандартного обладнання на літак Saab340B+. Це обладнання досягає в середньому зниження шуму близько 6 дБ(а). Інша система, яка встановлюється на літак SAAB 2000, включає в себе багатофункціональний контролер з 27-ма динаміками і 72-ма мікрофонами, для того щоб досягнути значного зниження рівня шуму для перших чотирьох

гармонік. На літаках King Air використовуються системи з вісьмома динаміками і 16 мікрофонами, яка досягає зменшення шуму на 10 дБ.

Активна шумоізоляції також поширена у автомобільній індустрії. Виробник автомобілів Honda має активну систему шумопоглинання, призначену для зменшення дорожнього шуму за допомогою мікрофонів та динаміків, розміщених під сидіннями автомобіля, тоді як Siemens Automotive виробляє систему, яка використовує динамік, встановлений всередині повітряного впускного колектора для придушення низькочастотного шуму двигуна.

Ще одне застосування - активні глушники для вихлопних труб двигунів, які деякий час використовувались на компресорах, генераторах тощо. З часом вартість систем активної шумоізоляції знижується, тому виробники автомобільних двигунів розглядають активні глушники, як заміну традиційного глушника для майбутніх виробничих автомобілів. Очікуване зменшення зворотного тиску в двигуні призведе до скорочення споживання пального на 5-6 відсотків за кермом в місті.

Гарним прикладом системи активної шумоізоляції являються навушники. Існує два різних види «активних» навушників, але лише в одному виді використовується активне шумопридушення. Давайте розглянемо два типи систем для навушників.

Активні навушники. Вони базуються на активному придушенні низькочастотного шуму. Вони оснащені мікрофонами поза межами вушних чашок, які вимірюють шум, що надходить у навушники. Цей шум потім скасовується шляхом відправлення відповідного "проти шуму" до динаміків навушників. Для передавання сигналу активна система шумоізоляції також включає в себе мікрофон усередині кожної порожнини навушників для спостереження за похибкою - частиною сигналу, який не було скасовано для оптимізації алгоритму активної системи шумоізоляції. Данні навушники застосовуються пілотами літаків. Активні навушники вважаються незамінними в шумних вертольотах і літаках.

Підсилені навушники - вони абсолютно відрізняються від першого типу, оскільки в них взагалі не використовується активне скасування шуму. Важкий пасивний навушник суттєво знижує шум, а мікрофони ззовні підбирають звуки, які, як правило, будуть чути вуха. Ці мікрофонні сигнали потім фільтруються перед тим, як їх відтворюють динаміки всередині вушних чашок. Найпоширеніша фільтрація полягає у вимкненні гучних, імпульсних звуків, таких як знімки. Посиленні навушники стали досить популярними серед мисливців, сил безпеки та військових, що дозволяють користувачам підтримувати розмову або навіть посилювати звуки навколо них під час захисту від пошкодження слуху.

Переваги систем активної шумоізоляції

Основною метою більшості активних систем контролю шуму є зменшення шуму для особистого комфорту, зниження довколишньої напруги та підвищення концентрації. Ще однією основною перевагою є доступність системи для, пристроїв, де пасивна ізоляція буде занадто дорогою, незручною або важкою. Наприклад, просочені свинцем листи, які використовуються для зменшення шуму в салоні літака, мають дуже велику вагу. В даному випадку системи активного контролю шумом можуть бути більш компактними. Активний контроль шуму також знижує коливання, індуковані механічними структурами, тим самим продовжуючи термін служби та підвищуючи ефективність. (А.Мілошевич, 2005)

2.2. Система активної шумоізоляції вагону. Опис середовища для впровадження та конструкції.

Об'єктом мого дослідження є вагон метро Київського метрополітену мод.81-7080 (фото.2.2.1). Вагон даного типу обслуговує Святошинсько-Броварську лінію Київського метрополітену, яка являється найбільш завантаженою і місті Києві. Середньодобова кількість перевезених пасажирів лінією складає 628 тисяч людей. Тому в даному випадку важко переоцінити важливість системи активної шумоізоляції, та надання користувачам метро комфортних та безпечних умов пересування.



Фото.2.2.1 Вагон Київського метрополітену мод.81-7080

На фото 2.2.2 ми бачимо загальну будову салону вагону. В даному вагоні підлога вкрита лінолеумом. Стіни всі покриті панелями з ПВХ товщиною 8 мм. Матеріал кузову вагону – конструкційна сталь. Перед другим рядом стоять перила, зроблені з дерев'яних плит. Всі двері лаковані. Стеля вся покрита ПВХ листами та має вентиляційні отвори. У вагоні сумарно 36 місць для сидіння з твердого та гнучкого пластику . Довжина вагону 19 метрів, ширина 2,69 метри, висота 3,66 м. Площа вагону складає 51,1 м², а обсяг 187,06 м³.



Фото.2.2.2 Салон вагону Київського метрополітену мод.81-7080

Для функціонування системи активної шумоізоляції вагону в метро передбачено вісім ідентичних комплексів. Оскільки у вагоні є вісім розсувних дверей, то поряд з кожними дверима симетрично повинні бути розташовані по два комплекси. Один мікрофонний капсюль з вітрозахистом розміщений ззовні вагону та закріплений на вентиляційній решітці. В середині вагону розміщений низькочастотний гучномовець, який буде знищувати шуми для забезпечення чіткого розпізнавання мови. В безпосередній близькості до гучномовця (до 10 см) буде розташований ще один капсюль мікрофона. Система буде регулюватися мікроконтролером. Для забезпечення функціонування мікроконтроллера та системи потрібно під'єднати два аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) (будуть перетворювати сигнал в цифрове представлення) та один цифро аналоговий перетворювач (ЦАП). Перед поступанням сигналу на гучномовець він повинен підсилюватись неінвертуючим підсилювачем з двополярним живленням.

Склад комплексу:

Капсюль мікрофона вимірювальний — 2 шт.;

АЦП двоканальна — 2 шт.;

ЦАП одноканальний — 1 шт.;

Підсилювач потужності — 1 шт

Мікроконтролер ATMEGA328P— 1 шт

Низькочастотний гучномовець – 1 шт.

2.3. Модель системи в середовищі Simulink

Для перевірки принципу роботи системи та можливого результату, мною була змодельована система в середовищі Simulink (рис.2.3.1.). В даній системі її основою виступає LMS фільтр. Програма Simulink є додатком до пакету MATLAB. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого, користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки. При цьому, на відміну від класичних способів моделювання, користувачеві не потрібно досконально вивчати мову програмування і чисельні методи математики, а досить загальних знань потрібних при роботі на комп'ютері і, природно, знань тієї предметної області в якій він працює. Simulink є досить самостійним інструментом MATLAB і при роботі з ним зовсім не потрібно знати сам MATLAB і інші його додатки. З іншого боку доступ до функцій MATLAB і іншим його інструментам залишається відкритим і їх можна використовувати в Simulink. Частина входять до складу пакетів має інструменти, що вбудовуються в Simulink (наприклад, LTIViewer додатки Control System Toolbox - пакета для розробки систем управління). Є також додаткові бібліотеки блоків для різних областей застосування (наприклад, Power System Blockset – моделювання електротехнічних пристроїв, Digital Signal Processing Blockset - набір блоків для розробки цифрових пристроїв і т.д). (1993)

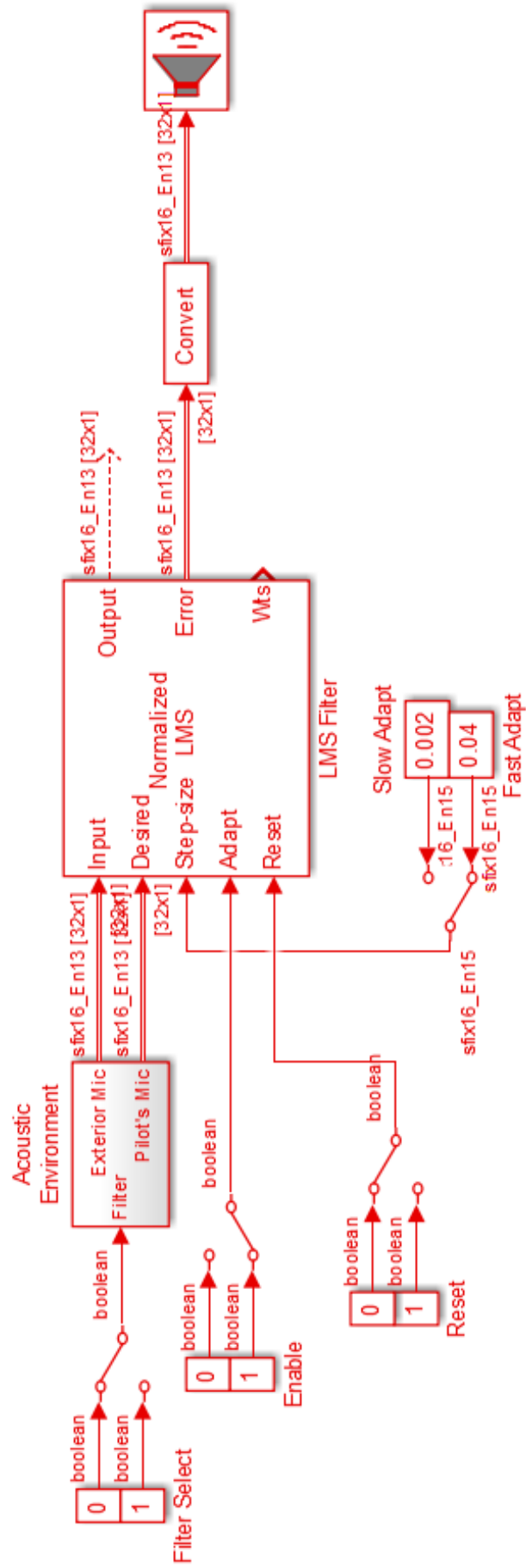


Рис.2.3.1. Схема системи активної шумоізоляції в Simulink

Система активної шумоізоляції

Склад моделі Simulink:

1. Система мікрофонів:

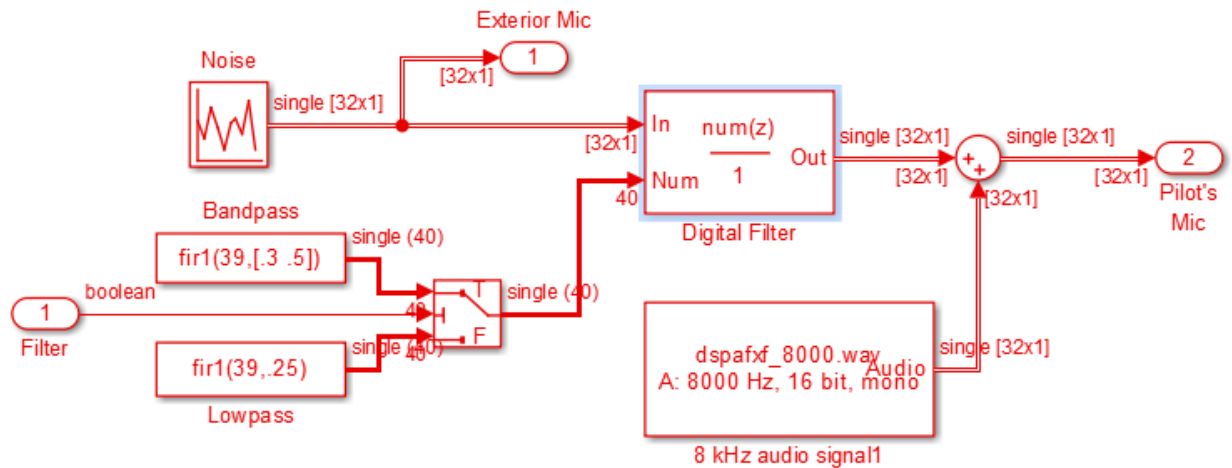


Рис. 2.3.2

Noise – генератор псевдовипадкової послідовності сигналів, який моделює реальний шум

Exterior Mic – мікрофон, який реєструє реальний шум (встановлений поза межами вагону в реальній системі)

Digital Filter – пристрій на виході якого генерується білий шум, шляхом фільтрації реального шуму

Перемикач – вмикає або фільтр низької частоти, або широкопasmовий фільтр

Audio signal 8 kHz – симуляція акустичного поля всередині вагону.

Суматор сигналів – сумує білий шум та звуки всередині вагону.

Pilot's Mic – реєструє результуючий сигнал суматора.

2. LMS фільтр

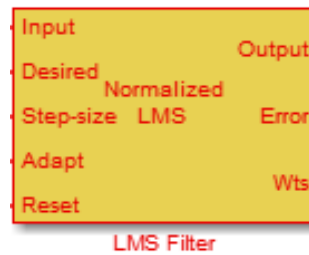


Рис. 2.3.3 LSM фільтр

Входи фільтра:

Input – реальний шум, який надходить з мікрофона ззовні вагону

Desired – сумований сигнал (білий шум та звуки з середини вагону)

Step-size – вхід для корекції швидкості адаптації фільтра

Adapt – дозвіл адаптації

Reset – перезапуск модуля

Виходи:

Output – сигнал, від якого потрібно очистити

Error – результат віднімання від суми білого шуму і шуму всередині вагону від реального шуму

Опишемо процеси, які відбуваються в системі. LMS фільтр можна назвати кореляційним фільтром. Він рахує методом найменших квадратів. На вхід йому приходить бажаний і «зашумлений» сигнал. Фільтр вибирає 3 точки сигналу з шумом і виставляє одну, яка найбільше підходить до бажаної. Таким чином апроксимується. На кожному кроці рахується середньоквадратична помилка (те, наскільки велика різниця між тим що є(шум) і тим що треба(корисний сигнал), поступово «навчаючись». Вихід *Output* – сигнал, від якого потрібно очистити; *Error* – результат обробкою

Як було вказано вище, робота LMS фільтра базується на методі найменших середніх квадратів. Це є метод знаходження наближеного розв'язку надлишкової визначеної системи. Задачею методу найменших квадратів є оцінка закономірностей, які спостерігаються на тлі випадкових коливань, та її використання для подальших розрахунків. Оновлення

коефіцієнтів фільтра відбувається на основі області помилок. Корекція коефіцієнта фільтра пропорційна негативному спуску градієнта. Знаючи градієнт у поточній точці, корекція коефіцієнта ΔC_n може бути визначена. Корекція коефіцієнтів від одного кроку m (t) до іншого $m + 1$ повинні бути обчислені наступним чином:

$$c_n^{(m+1)} = c_n^{(m)} + \Delta c_n^{(m)} = c_n^{(m)} - \frac{\alpha \partial Q}{2 \partial c_n}$$

де Q – коефіцієнт фільтра;

Поправочний коефіцієнт і остаточне обчислення фільтра дається за формулою:

$$\Delta c_n^{(m)} = \frac{\alpha \partial Q}{2 \partial c_n} = -\frac{\alpha}{2} \left[\overline{-2e(i)s(i-n)} \right] = \overline{\alpha e(i)s(i-n)}$$

$$\Rightarrow \Delta c_n^{(m+1)} = c_n^m \overline{\alpha e(i)s(i-n)}, n \in N, n = 0, 1, 2, \dots, N$$

Адаптивний фільтр змінить свій коефіцієнт так, що помилка буде зменшуватись (нові коефіцієнти фільтра обчислюються в протилежному напрямку. Змінна α - це розмір кроку, який контролює наскільки корекція впливає на старий коефіцієнт. Після багаторазового корегування кожного коефіцієнта в напрямку від'ємного градієнта, фільтр буде сходиться. Відмінність передаточної функції невідомої системи та одним адаптивним фільтром стає все менше і менше. Якщо розмір кроку вибраний невеликим система буде конвертуватися повільніше, але мінімальна помилка буде досягнута. Вибираючи великий розмір кроку, система буде сходиться, але помилка буде високою і буде вести себе нераціонально. Високі розміри кроку можуть привести до нестабільності системи.

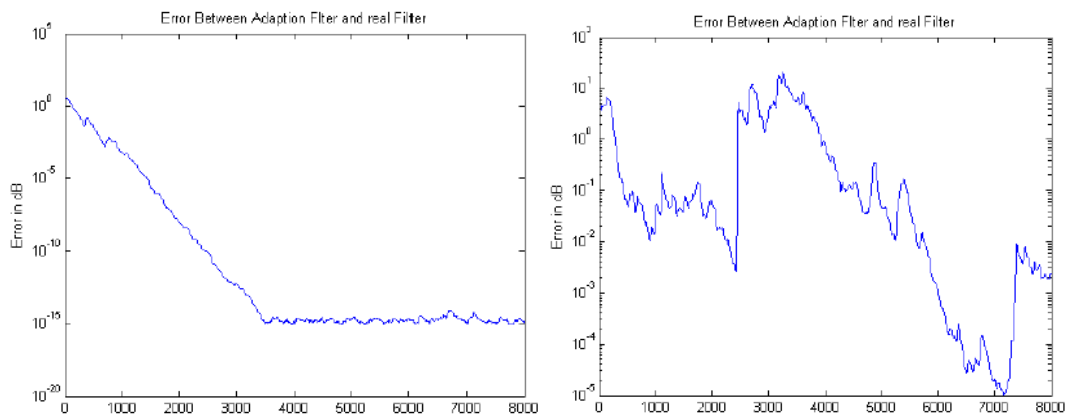
Найпростіший шлях – забезпечити можливість алгоритму LMS «пройти далі» та обчислювати середнє значення. Цей алгоритм і являється стандартним алгоритмом LMS.

Перед тим, як будувати середнє значення необхідно встановити шаг кроку. В багатьох випадках достатньо важко встановити постійний розмір

кроку α . Ризик системи отримувати нестійкий потужний сигнал на входу високий. Використовуючи нормування розміру кроку α система завжди буде обчислювати зворотній сигнал приближений до сили сигналу σ_s^2 .

$$\sigma_s^2 = \frac{\alpha_0}{\delta + L_{\sigma_s}^2(i)}$$

α_0 - константа, δ являється засобом запобігання ділення на нуль. L – цільовий фактор. σ_s^2 - середнє значення вхідного сигналу. Час будування «середини» відноситься до довжини фільтра $(N + 1)$ (тільки це залежить від форми середнього обчислення). Ця LMS модифікація відома, як нормалізована LMS.



(а) Адаптація з розміром кроку 0,05 (б) Адаптація з розміром кроку 0,06

Рис.2.3.4 Адаптація фільтра з різним розміром кроку

Для того, щоб помилка трималася на якомога найнижчому рівні, застосовується метод найменший середній квадрат (LMS), який описується вище. Даний метод широко використовується в системах активної шумоізоляції. Однією з проблем, пов'язаних з реалізацією LMS, є пошук найкращої розміру кроку. Для того, щоб симулювати ефект розміру кроку на швидкості збіжності алгоритму, був використаний випадковий фільтр низькочастотного фільтра з кінцевим імпульсним відгуком (FIR) з порядком 32 (імітує невідомий $P(z)$), до якого адаптивний фільтр FIR ($H(z)$) повинен адаптуватися). Використаний сигнал є випадковим шумом. На рисунку 2.3.4

(а) показано адаптацію і сходження фільтра з розміром кроку 0,05 за допомогою стандартного алгоритму LMS. Якщо змінити розмір кроку до 0,06, фільтр не буде адаптовано, помилка збільшується і система стає нестабільною, як це видно на рисунку 2.3.4(б). Висновок: вибір розміру кроку відіграє важливу роль при проектуванні. Однак LMS фільтр можна нормалізувати, нівелювавши проблеми з великими розмірами кроків. Той же симулятор, як вище, - але тепер використовуючи алгоритм NLMS, який показує постійне зменшення залишкової помилки. (А.Мілошевич, 2005)

Висновки до розділу

Таким чином, у даному розділі було розглянута історія розвитку систем активної шумоізоляції. Справжнього розвитку та розголосу системи набули з появою комп'ютерних систем та мікроконтролерів. У розділі було дослідженні основні принципи у роботі систем активної шумоізоляції, існуючі системи та їх особливості. Більшість сучасних моделей систем активної шумоізоляції будуються на базі LMS фільтра.

У розділі була представлена модель системи активної шумоізоляції, яка відображає ситуації у вагоні метро та наглядно показує поводження звукових сигналів на усіх етапах їх обробки. Результатом роботи даної системи є корисний сигнал на її виході, до чого я і прагнули. Принципи роботи LMS фільтра можна застосовувати при програмуванні мікроконтролера у реальній системі.

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АКТИВНОЇ ШУМОІЗОЛЯЦІЇ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЛЕРА

3.1. Загальні відомості про середовище Proteus. Мікроконтролер АМТЕGA328P.

Proteus - середовище для проектування електронних пристроїв, в т.ч. виконаних на базі мікроконтролерів різних сімейств. Представляє можливості введення схем у графічний редактор, моделювання її роботи та розробки друкованої плати, включаючи тривимірну візуалізацію її збірки. Унікальна риса Proteus - це можливість ефективного моделювання роботи різноманітних мікроконтролерів (PIC, 8051, AVR, HC11, ARM7 / LPC2000 та ін.) та відпрацювання мікропрограмного забезпечення. (1998)

Середовище PROTEUS має величезну бібліотеку електронних компонентів, а елементи, яких не вистачає - можна зробити самостійно. Передбачена підтримка SPICE-моделей, які часто надаються виробниками електронних компонентів.

В комплект професійної версії входять інструменти USBCONN для підключення модельованої схеми до реального USB порту комп'ютера і COMPIR для підключення к COM-порту ПК.

Середовище Proteus сумісна з популярними середовищами розробки мікропрограмного забезпечення, в тому числі:

CodeVisionAVR (тільки МК AVR)

IAR (будь-які МК)

ICC (МК AVR, msp430, ARM7)

WinAVR (МК AVR)

Keil (МК 8051 і ARM)

HiTECH (МК 8051 і ПІК) (1998)

У середовищі Proteus розроблювалась схема активної шумоізоляції та впровадження її у роботу. Основою даної системи став мікроконтролер АТМЕGA328P (рис 3.1.1)

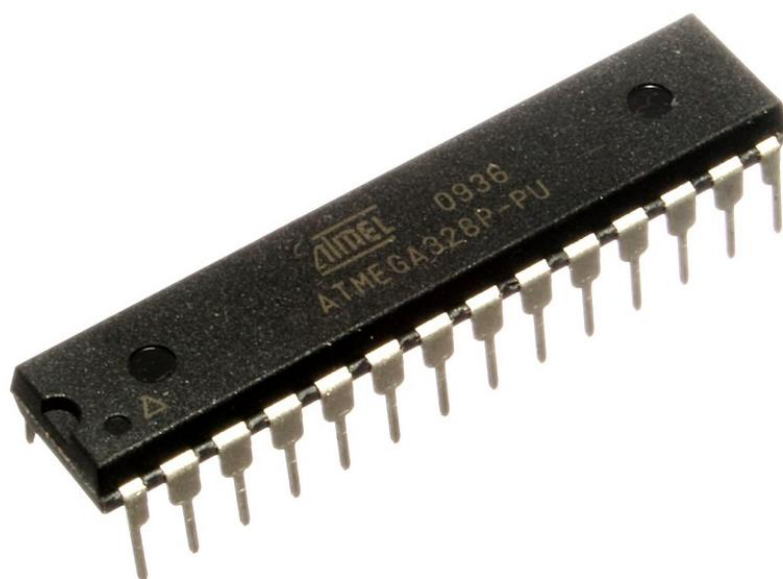


Рис.3.1.1. Мікроконтролер ATMEGA328P

Параметри мікроконтролера ATMEGA328P (рис.3.1.1):

Тактова частота: 0 - 20 МГц;

Обсяг Flash-пам'яті: 32 кб;

Обсяг SRAM-пам'яті: 2 кб;

Обсяг EEPROM-пам'яті: 1 кб;

Напруга живлення: 1,8 - 5,5 В;

Струм в режимі роботи: 0,2 мА (1 МГц, 1,8 В);

Струм в режимі сну: 0,75 мкА (1 МГц, 1,8 В);

Кількість таймерів / лічильників: 2 восьмибітних, 1 шістнадцятибітний;

Загальна кількість портів: 23;

Кількість ШІМ (PWM) виходів: 6;

Кількість каналів АЦП (аналогові входи): 6;

Кількість апаратних USART (Serial): 1;

Кількість апаратних SPI: 1 Master / Slave;

Кількість апаратних I²C / SPI: 1;

Дозвіл АЦП: 10 біт;

3.2. Модель системи активної шумоізоляції на базі мікроконтролера.

На сьогоднішній день одним з найбільш потужних і гнучких засобів розробки електронних схем є мікроконтролери. При роботі з мікроконтролерами необхідно мати на увазі таку обставину - коли розробляється система на основі мікроконтролера, то створюються не тільки апаратні засоби, що реалізуються відповідним підключенням мікроконтролера до зовнішніх пристроїв. Окрім цього розробник повинен забезпечити виконання багатьох системних функцій, які в традиційних мікропроцесорних системах забезпечуються за допомогою операційної системи та спеціальних периферійних мікросхем. Це, з одного боку, дещо ускладнює задачу, з іншого ж боку, дозволяє суттєво оптимізувати проект - як його апаратну, так і програмну частину для конкретного застосування. Відмінності в архітектурі процесорів можуть істотно позначитися на їхній продуктивності при виконанні різних завдань. Дискусії про порівняльні переваги різних комп'ютерних архітектур можна вести до нескінченності. Щоб уникнути участі в цих дискусіях, обмежимося коротким оглядом найбільш важливих особливостей різних архітектур та вказівками, для яких найкращим чином підходить та чи інша архітектура. (Д.А.Пархоменко, 2013)

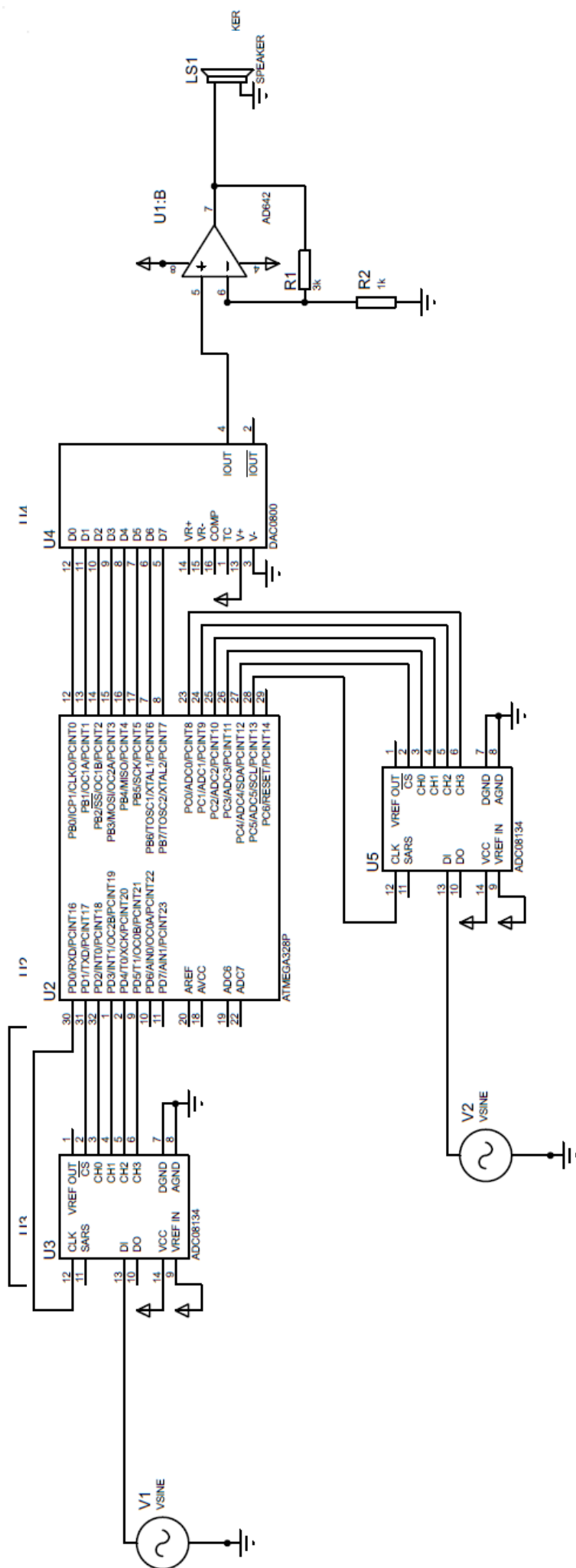


Рис. 3.2.1. Система активної шумоізоляції на базі мікроконтролера

Опишемо склад системи:

V1,V2 – мікрофони 1 та 2

U3, U5 – аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП)

U2 – мікроконтролер ATMEGA328P (рис.3.2.2)

U4 – цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП)

U1 – неінвертуючий підсилювач з двополярним живленням з коефіцієнтом підсилення 3

LB1 – гучномовець

Основний цикл роботи системи:

V1 та V2 - випромінюють сигнали, які виступають аналогами мікрофонів у реальній схемі. U3 та U5 приймають ці сигнали на входи DI та перетворюють їх у цифрове представлення (на виходи CH0-CH3). Отримані цифрові коди поступають на цифрові входи мікроконтролера. Сигналом \sim CH (chip select). Ми будемо мати можливість вибирати slave`ів. (тобто АЦП можуть працювати разом, або конкретно один за вибором). Мікроконтролер буде обробляти отримані сигнали і результуючий сигнал у цифровому представленні буде транслюватись на ЦАП (U4). ЦАП буде перетворювати результуючий цифровий код в аналоговий сигнал. Значення амплітуди цього сигналу ми можемо регулювати опорним значенням напруги (подається від незалежного джерела напруги). Аналоговий сигнал можна підсилити через операційний підсилювач U1 (коефіцієнт підсилення регулюється резисторами R1 та R2). Отриманий сигнал випромінюється гучномовцем у середовище.

Розглянемо процеси, які відбуваються в системі.

Налаштування системи

На гучномовець, через підсилювач потужності подається сигнал у вигляді “білого” шуму. Акустичний сигнал, який випромінюється гучномовців реєструється двома мікрофонами.

В результаті фіксується часова затримка для кожного з мікрофонів на порівнюється АЧХ та ФЧХ прийнятих сигналів з оригіналом. Зафіксована різниця заноситься в пам'ять як перехідна характеристика кожного з трактів.

Початок роботи комплексу

Сигнал з першого мікрофона затримується на τ_1 , корегується на обернену перехідну характеристику першого тракту, після чого піддається інвертуванню. Обернений сигнал через ЦАП подається на підсилювач потужності, а з нього випромінюється гучномовцем.

Другий мікрофон, який розташовано в безпосередній близькості до гучномовця реєструє сумарне акустичне поле і передає його на другий канал АЦП. Процедура роботи з сигналом аналогічна до сигналу з першого мікрофона. Обернений сигнал, через суматор подається знов ж таки на ЦАП та потім на гучномовець.

В даній роботі не представлено програмування мікроконтроллера для виконання всіх задач. Сам мікроконтроллер необхідно програмувати згідно з принципами роботи LMS фільтра. Рекомендовано замовлення програмування на out source.

Висновки до розділу

Отже, у даному розділі були розглянуті переваги та особливості середовища Proteus, яке використовується для моделювання. Були описані параметри та характеристики мікроконтролера AMTEGA328P, на якому буде базуватись система активної шумоізоляції.

В даному розділі представлена схема системи активної шумоізоляції, яка змодельована в середовищі Proteus. Були описані всі структурні елементи схеми. Перевагою наведеної схеми є її гнучкість до застосування у різних типах вагонів та простота у впровадженні. Програмування контролера не представлено, але надані рекомендації до програмування за принципами роботи LMS фільтра.

РОЗДІЛ 4

СТАРТАП ПРОЕКТ

“Активна шумоізоляція вагону в метро”

Активна шумоізоляція вагону в метро являє собою систему придушення шуму у вагоні метро. Система призначена для використання у метрополітенах для забезпечення комфортного та безпечного пересування великих пасажиропотоків.

Актуальність проекту.

- Високий рівень затребуваності метро серед населення
- Система побудована на базі мікроконтролера AMTEGA, що робить її гнучкою у налаштуванні та легкою у впровадженні.
- Недооцінювання подібних систем зниження шуму, аналоги яких успішно працюють в провідних країнах світу.

Які проблеми ринку вирішує продукт стартапу:

Зниження шуму в метро

Щорічно кількість користувачів київського метрополітену збільшується. Метрополітен вважається найбільш зручним та швидким видом громадського транспорту. Проблема шуму у вагоні без перебільшення являється ключовою, а шляхів її вирішення досі не знайдено

Збільшення пасажиропотоку

Закономірним результатом впровадження системи стане збільшення пасажиропотоку в метро. Створення комфортних умов для користувачів метро, з урахуванням відповідної маркетингової підтримки проекту, приверне увагу жителів столиці.

Прибутковість метрополітену

У численних заявах для ЗМІ представники керівництва метрополітену та київської мерії наголошували про низьку прибутковість або ж взагалі збитковість підприємства. За рахунок використання системи в метро буде можливість підвищити вартість проїзду на 10-12%, що позитивно вплине на роботу підприємства загалом.

Залучення інвестицій

В ситуації, коли подібні системи не застосовуються не тільки в країні, а і в країнах-сусідах, впровадження даної системи у загальновідомому місті може набути неабиякого резонансу навіть на міжнародному рівні та залучити фінанси багатьох інвесторів.

Аналіз ринку: конкуренти, їх продукція, в чому переваги і недоліки продукції конкурентів.

Конкуренти:

Україна – немає

Країни Європи – 1 компанія (не застосовується у метро)

Світ – 2 компанії

Система активної шумоізоляції метро використовується у Токійському метрополітені. Відомостей про дану систему у вільному доступі немає. Але саме метро Токіо вважають одним із найбільш розвиненим у світі, і дана система тільки підкреслює його технологічність. В Європі ж подібні системи не застосовуються, і це може стати справжнім відкриттям для європейців.

Хто є споживачами продукції і в чому полягає ціннісна пропозиція
Споживачі:

Виключно вагони метрополітену. За рахунок гнучкості системи, є можливість застосовувати у вагонах різного типу. Кінцевим споживачем продукції стане кожний пересічний користувач метро, який однозначно відчує зміни.

Ціннісна пропозиція:

- Захист користувачів метро від згубного впливу шуму
- Лояльність до виду транспорту серед населення
- Візитівка метрополітену

Заходи маркетингового просування продукції проекту.

- Виставки
- Гранти
- Реклама на сайтах(в магазинах)

- Публічні покази роботи системи
- Реклама на YouTube

Канали збуту продукції.

Прямі канали збуту (директ маркетинг - та інтернет-маркетинг):

- Державні підприємства (київський метрополітен)
- Залучення іноземних інвесторів (країни Європи)

Таблиця 4.1. Класифікація ризиків системи активної шумоізоляції

| № | Об'єкт | Визначення | Приклад |
|-----------|---------------------------|--|--|
| 1. | Внутрішні ризики | | |
| 1.1 | <i>Час</i> | Для проектів створення програмних рішень характерне неточне визначення планових термінів реалізації. | Розробка однієї з функцій створюваного програмного продукту затребувала більше трудовитрат, ніж попередньо оцінив експерт |
| 1.2 | <i>Технологія</i> | Ризики, пов'язані з вибором оптимальної технології виконання проекту | Концепція проекту розробки програмного продукту і всі проектні рішення передбачали реалізацію проекту, а в результаті частина функціоналу не змогла бути реалізована |
| 2. | Зовнішні ризики | | |
| 2.1 | <i>Держава</i> | Ризики політичного, законодавчого та соціального характеру | Прийняття неочікуваного законопроекту, що матиме вплив реалізацію проекту |
| 2.2 | <i>Зовнішня економіка</i> | Ризики, пов'язані з валютними операціями, зовнішньоекономічними контрактами, організацією «віддалених робочих місць» | Введення змін на макроекономічному рівні, що матиме вплив на виконання дійсних міжнародних контактів |
| 2.3 | <i>Контрагенти</i> | Ризики, що можуть виникнути в процесі ведення взаєморозрахунків, виконання контрактних | Порушення умов договорів поставки компонентів продукту проекту |

| | | | |
|-----|----------------------------------|--|--|
| | | поставок та зобов'язань | |
| 2.4 | <i>Науково-технічний прогрес</i> | Ризики, що виникають у тривалих, негнучких проектах, та пов'язані з появою в галузі нової, кращої технології або інструментарію до завершення такого проекту | Вихід на ринок нової версії технологічної платформи (базового компоненту для розробки) |

ВИСНОВКИ

В даній роботі була змодельована ситуація у вагоні в метро, та наочно показано як знищується шумовий фон у вагоні. Розроблена система активної шумоізоляції на базі мікроконтроллера AMTEGA328P, яка готова до впровадження у вагонах метро. В результаті проведених робіт:

1. Визначені і оцінені можливості пакету Simulink для створення основних схемо-технічних і функціональних рішень пристрою активної шумоізоляції.
2. Розглянуто теоретичну інформацію по даній темі для майбутнього вдосконалення пристрою активної шумоізоляції при програмуванні мікроконтроллера.
3. Розглянуто та вивчено інформацію по темі розвитку активної для розуміння можливості застосування даної системи у випадку шумоізоляції вагону в метро.
4. Визначені і оцінені можливості середовища Proteus для створення основних схемо-технічних і функціональних рішень пристрою активної шумоізоляції.
5. Приведена схема реалізації на базі мікроконтроллера пристрою системи активної шумоізоляції, описана її робота та розписані усі складові компоненти схеми та їх характеристики у складі цієї схеми.

При моделюванні системи активної шумоізоляції вагону метро у середовищі Simulink, я показав, як знищуються шумові завади, і що така система може дійсно працювати у вагоні метро. Схема з мікроконтролером є готовою моделлю до застосування на практиці. Саме це досягнення у моїй магістерській дисертації стане запорукою комфортного та безпечного пересування у метро користувачів метрополітену.

1. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Proteus [З мережі] // <http://www.gaw.ru>. - ООО Рынок Микроэлектроники, 1998 р.. - 3 12 2018 р.. - <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/soft/avr/Proteus.htm>.
2. Simulink [З мережі] // matlab.ru. - ЦИТМ Экспонента , 1993 р.. - <https://matlab.ru/products/simulink>.
3. **А.Мілошевич** Активна шумоізоляція // Активна шумоізоляція. - Рапперсвіль : СТО G–Innovation "Geneva", 2005 р..
4. **Анерт, В.; Райхардт, В.** Основы техники звукоусиления [Книга]. - Москва : Радио и связь, 1984.
5. **Анерт, В.; Стеффен, Ф.** Техника звукоусиления [Книга]. - Москва : Эра, 2003.
6. **Грінченко, В.Т.; Вовк, І.В.; Маципура В.Т.** Основы акустики [Книга]. - Киев : Наукова думка, 2007.
7. **Д.А.Пархоменко Смирнов Є.М.** Розробка радіоелектронних схем на. - Київ : Радіофізичний факультет КНУ ім.Тараса Шевченка, 2013 р.. - Т. I.
8. **Дідковський, В. С.; Луньова, С. А.; Богданов, О. В.** Архітектурна акустика: навч.посіб. [Книга] / ред. Дідковський В. С.. - Київ : НТУУ "КПІ", 2012. - Т. 13 : 17 : с. 384. - 978-622-482-1.
9. **Дідковський, В.С.; Луньова, С.А.** Основы архитектурной і фізіологічної акустики [Книга]. - Киев : Постприм, 2001.
10. **Дідковський, В.С.; Луньова, С.А.; Засць, В.П.** До питання про визначення оптимального часу реверберації [Журнал] // Електроніка и связь. - Киев : Електроніка и связь, 2006 р.. - сс. 91-94.
11. **Исакович М.А.** Общая акустика [Книга]. - Москва : Наука, 1973. - Т. I.
12. **Ковалгин Ю.А.** Электроакустика и звуковое вещание [Книга]. - Москва : Горячая линия-Телеком, Радио и связь., 2007. - с. 872. - 5-93517-334-4.
13. Краткое описание шума. - Москва : Widex , 2007 р..
14. **М.А.Сапожков** Звукофикация помещений [Книга]. - Москва : Связь, 1979. - Т. I.